

AJUSTE AUTOMÁTICO EM MÁQUINAS DE COSTURA E CONTROLO ON-LINE DA QUALIDADE DA COSTURA

Miguel Ângelo Fernandes Carvalho; Fernando Nunes Ferreira e Elisabete Cabeço Silva

RESUMO

Este trabalho apresenta um contributo para a avaliação objectiva e automática da qualidade da costura e uma proposta para o controlo automático da sua qualidade. Insere-se numa linha de investigação desenvolvida por um grupo alargado de investigadores da Universidade do Minho, no âmbito do desenvolvimento de máquinas de costura inteligentes, com o objectivo de reduzir ao mínimo a intervenção humana em situações de ajuste, detecção de anomalias de funcionamento e capacidade de correcção, garantindo elevados níveis de qualidade.

A dinâmica da costura é o tema geral de estudo, através da análise das tensões e consumo das linhas de costura, das forças desenvolvidas na barra da agulha aquando da sua penetração e saída do material a ser costurado, e da alimentação do material pela acção conjunta do arrastador e calcador através das forças desenvolvidas na barra do calcador e do seu deslocamento, durante a formação do ponto de costura.

Um sistema para a aquisição, monitorização e armazenamento das variações dos mais importantes parâmetros da costura, durante o ciclo de formação do ponto, foi desenvolvido numa máquina de ponto orlado tipo 504. A análise dos dados permitiu estabelecer valores de referência para cada parâmetro em condições de costura diferentes, bem como estabelecer uma relação entre a tensão das linhas de costura e o seu consumo, designada por *Stitchcheck*, que permite determinar a qualidade da costura e garantir o controlo e afinação adequada da máquina de costura.

Assim, é possível definir para cada condição de costura o valor *Stitchcheck* e detectar situações de desajuste do ponto e respectivos parâmetros de controlo, sendo possível actuar de modo a contrariar essas situações e voltar à situação de ponto ajustado.

PALAVRAS-CHAVE:

Tensão nas linhas de costura; Consumo de linha; Monitorização; Controlo; Qualidade da costura.

1. INTRODUÇÃO

A indústria do vestuário é tradicionalmente de mão-de-obra intensiva devido à grande percentagem de trabalho manual existente na maioria das operações de costura, de qualquer artigo que seja confeccionado. O nível de formação dos operadores de costura é normalmente bastante reduzido e os supervisores, na maioria dos casos, foram sendo promovidos, com muito pouca formação técnica. Verifica-se também cada vez mais uma extensiva variação de modelos e materiais no quotidiano de uma indústria deste tipo, onde a variabilidade é uma realidade.

A maioria dos fabricantes de máquinas e algumas das maiores empresas de vestuário, desenvolveram máquinas/postos de costura semi-automáticos, permitindo executar algumas operações num período de tempo mais reduzido e que possam servir uma variedade de artigos o mais ampla possível, de modo a justificar os elevados investimentos inerentes. No entanto, devido à evolução do mercado e da evolução da indústria do vestuário, as exigências ao nível da qualidade e da flexibilidade dos processos produtivos são cada vez maiores, as pequenas séries e uma grande variedade de modelos, tornam este tipo de solução cada vez menos justificável, pelo facto de a sua amortização ser mais difícil. Por outro lado, embora este tipo de máquinas permitam obter níveis mais elevados de eficiência, não tem, em muitos casos, continuidade em termos de produção.

Por outro lado, na constante mudança de modelos, a intervenção dos mecânicos/afinadores é cada vez mais importante. A afinação de todas as máquinas para um novo modelo é uma tarefa morosa, com grande prejuízo da produtividade. A maioria dos operadores das máquinas de costura não tem formação suficiente para o fazer, provocando espera e atrasos na utilização dos equipamentos.

Com base no descrito anteriormente, será importante dotar as máquinas de costura de dispositivos que permitam controlar a qualidade das costuras efectuadas, e se auto-ajustarem de acordo com o tipo de material a ser costurado, libertando o operador para efectuar apenas as operações de costura.

Para reduzir o número de peças defeituosas, é necessário desenvolver sistemas que permitam monitorizar o processo de costura. Saber que uma linha rebentou, que num determinado ponto de costura falhou o cruzamento das linhas, que o consumo das linhas não é o correspondente ao de um ponto ajustado, que o material é convenientemente arrastado durante a fase de alimentação garantindo um comprimento de ponto constante, que a agulha está em boas condições sem picar o material nem rebentar fios durante a penetração, são informações indispensáveis para a garantia de costuras de qualidade ao longo da montagem de toda a peça.

A procura de custos de mão-de-obra inferiores, consequência da necessidade de conseguir preços cada vez mais competitivos e boas margens de comercialização, faz com que as indústrias que pretendam manter a sua capacidade produtiva tenham de recorrer a vários mecanismos de gestão que lhes permitam aumentar a produtividade através da optimização dos seus processos produtivos, através do aumento da flexibilidade desses mesmos processos, de modo a conseguirem responder com grande rapidez às necessidades dos mercados, e por outro lado, procurar artigos com maior valor acrescentado.

Neste contexto, as máquinas de costura flexíveis e facilmente reajustadas a novos materiais e a novas situações, são sem dúvida um grande contributo.

O desenvolvimento desta nova geração de máquinas de costura inteligentes vem responder a necessidades actuais e futuras, uma vez que as linhas de produção são a área da indústria do vestuário e calçado onde a automação é bastante reduzida e bastante dependente da experiência e capacidades técnicas dos operadores.

2. BANCO DE ENSAIOS

A Figura 1 mostra o banco de ensaios, existente na Universidade do Minho, utilizado para a realização deste trabalho tem vindo a ser melhorado ao longo dos últimos doze anos, pelo seu grupo multidisciplinar de investigadores, que envolve três departamentos desta Universidade, nomeadamente Têxtil, Electrónica e Mecânica [1,2,3,4,5].

Apesar deste trabalho envolver apenas os resultados alcançados numa máquina de corta-e-cose, com um dos pontos de costura mais utilizados – ponto orlado tipo 504, encontra-se já em fase reprodução da tecnologia desenvolvida para uma máquina de ponto preso.

Através do posicionamento de dispositivos de aquisição de dados (sensores extensiométricos e piezoelétricos, *encoders* e um *LVDT - Linear Variable Differential Transformer*), é possível recolher informação sobre o desenvolvimento de tensões em cada uma das linhas, determinar o consumo de cada linha envolvida na formação do ponto, avaliar a evolução da força na barra da agulha e na barra do calcador e medir o deslocamento do calcador durante a formação de um ponto de costura. Através de um programa desenvolvido especificamente, é possível efectuar várias tarefas, com automatização crescente à medida que a investigação avança e são definidas regras de controlo e definida a informação mais relevante.

A Figura 2 mostra o sistema utilizado para análise dos dados recolhidos, nomeadamente a definição das zonas onde são gerados picos de tensão na linha da agulha durante a formação de um ponto de costura (um ciclo completo).

3. VARIAÇÃO TIPO DE CADA UM DOS PARÂMETROS EM ANÁLISE

Neste trabalho foi dada especial atenção às tensões de linha e ao consumo de cada linha durante a formação do ponto.

Para cada sinal adquirido foi efectuada uma análise aprofundada no sentido de procurar compreender a importância do seu papel durante a formação do ponto. Assim, foi escolhido o segundo pico de tensão desenvolvido em cada linha, pelo facto de ocorrer numa importante fase de formação do ponto e terem sido obtidos bons resultados através de uma análise estatística efectuada aos seus valores, nomeadamente nos valores obtidos para o coeficiente de variação.

A Figura 3 mostra a posição dos vários elementos durante a ocorrência do segundo pico de tensão absoluta em cada uma das linhas durante um ciclo da máquina de costura. Na linha da agulha o segundo pico ocorre no momento em que a agulha se encontra a descer e a laçada formada pela linha da agulha solta-se da laçadeira inferior. Neste momento, a laçadeira inferior está a deslocar-se para a esquerda e a sua linha está quase a soltar-se da laçadeira superior.

O consumo de cada uma das linhas foi também analisado nas diferentes situações de costura. A Figura 4 representa essa variação do consumo por ponto de costura para o conjunto de pontos de costura efectuados com o ponto ajustado e quando se varia a pré-tensão na linha da agulha (frouxa e tensionada). Sendo possível verificar, como seria de esperar, que o consumo de linha é função do valor de pré-tensão aplicado. Verificando-se também que existe uma compensação de consumos entre as linhas, de modo que o consumo total tende a manter-se constante.

Foi também desenvolvida uma fórmula específica para determinação do consumo de linha teórico para o ponto tipo 504. Esta mesma fórmula foi introduzida no programa sendo utilizada para cálculo do consumo teórico de linha.

Efectuando uma análise à construção do ponto (representado na Figura 5), as formulas para determinar o consumo de cada uma das linhas foram as seguintes:

$$C_{Ag} = c + 2e$$

$$C_{Li} = e + 2 * \sqrt{[(1/3 * c)^2 + l^2]} + 2c$$

$$C_{Ls} = e + 2 * \sqrt{(c^2 + l^2)} + c$$

Assim, resulta o seguinte consumo total de linha:

$$C_T = 4e + 2 * \sqrt{[(1/3 * c)^2 + l^2]} + 4c + 2 * \sqrt{(c^2 + l^2)}$$

em que:

C_T	- Consumo total de linha;
C_{Ag}	- Consumo de linha da agulha;
C_{Li}	- Consumo de linha da laçadeira inferior;
C_{Ls}	- Consumo de linha da laçadeira superior;
C_T	- Consumo total de linha;
e	- Espessura do material;
c	- Comprimento do ponto (distância entre os dois pontos de contacto entre a linha da laçadeira inferior e a linha da agulha);
l	- Largura do ponto;
$\sqrt{[(1/3 * c)^2 + l^2]} \quad (d_i)$	- Distância (na diagonal) entre a margem inferior do material e o ponto de entrada da agulha.
$\sqrt{(c^2 + l^2)} \quad (d_s)$	- Distância (na diagonal) entre a margem superior do material e o ponto de entrada da agulha.

4. VARIAÇÃO DA PRÉ-TENSÃO EM CADA UMA DAS LINHAS EM TRÊS ESTRUTURAS DIFERENTES

Variando a pré-tensão em cada uma das linhas, foi possível avaliar para as estruturas *jersey*, *rib* e *interlock* (produzidas com o mesmo tipo de fio: 100% algodão penteado 24 *Ne* e grau de aperto 14) a variação de cada um dos seus picos absolutos.

Verificamos que os valores de tensão desenvolvidos numa determinada linha dependem não só dos valores de pré-tensão nessa linha mas também dos valores de tensão verificados nas outras duas linhas, pois existe uma influência entre elas resultante dos contactos desenvolvidos durante o entrelaçamento para a formação do ponto.

Quando variamos a pré-tensão na linha da agulha, obtemos as seguintes equações para o segundo pico nas três estruturas:

Jersey

$$P2Ag = 162.7189 - 1.03469 * T_{Ag} + 0.004191 * T_{Ag}^2 - 0.997997 * TO_{Li} + 0.014909 * TO_{Li}^2 + 0.185908 * TO_{Ls} - 0.177333 * TO_{Ls}^2$$

Rib

$$P2Ag = 270.572 + 0.155838 * T_{Ag} + 0.001173 * T_{Ag}^2 - 12.8576 * TO_{Li} + 0.172295 * TO_{Li}^2 + 3.315022 * TO_{Ls} - 0.354216 * TO_{Ls}^2$$

Interlock

$$P2Ag = 159.0966 - 1.43897 * T_{Ag} + 0.004835 * T_{Ag}^2 + 1.472724 * TO_{Li} + 0.002697 * TO_{Li}^2 - 7.04048 * TO_{Ls} - 0.808179 * TO_{Ls}^2$$

Em que :

T_{Ag} – Pré-tensão na linha da agulha;

TO_{Li} – Tensão na linha da laçada inferior no momento em que ocorre o segundo pico na linha da agulha;

TO_{Ls} – Tensão na linha da laçada superior no momento em que ocorre o segundo pico na linha da agulha.

As equações de regressão obtidas para a linha da agulha permitem prever, com 95% de nível de confiança, os valores da tensão absoluta em cada um dos picos de tensão para um determinado valor de pré-tensão na linha da agulha, nas três estruturas.

A figura 6 representa a variação da tensão para a linha da agulha, nas estruturas *jersey*, *rib* e *interlock*, com a variação da pré-tensão na linha da agulha e com os valores da tensão registados nas outras linhas.

Da análise do gráfico, podemos observar que as estruturas apresentam curvas muito aproximadas de variação da tensão de acordo com pré-tensão. Assim, independentemente da estrutura, a forma como a tensão varia em cada um dos principais picos de tensão é comum.

As equações anteriores podem ser utilizadas num futuro controlo das tensões na linha da agulha. Estudos idênticos foram efectuados para as linhas das laçadeiras.

A utilização destas fórmulas revelou-se importante na detecção de defeitos, nomeadamente durante a ocorrência de pontos falsos, uma vez que a mesma responde de forma eficaz a uma situação em que o valor de tensão em uma das linhas é nulo (resultado de uma quebra de linha ou de uma falha de entrelaçamento entre as linhas).

5. PARÂMETRO *STITCHCHECK* COMO ELEMENTO DE CONTROLO DA QUALIDADE DA COSTURA

Tendo em consideração o apresentado anteriormente e o facto de a qualidade de uma costura estar directamente relacionada com os valores de pré-tensão, definidos para cada uma delas durante o ajuste da máquina, e com os valores de consumo de cada uma das linhas, pois pretende-se num ponto ajustado ou balanceado que as linhas das laçadeiras se cruzem no centro do bordo dos materiais a serem costurados e que a linha da agulha segure adequadamente a costura, conferindo-lhe a resistência e elasticidade necessárias.

Utilizando o segundo pico de tensão de cada uma das linhas e o seu consumo, foi desenvolvido um factor, a que se chamou *Stitchcheck*. A sua representação revelou importantes características no sentido de ser possível quantificar um ponto ajustado e além disso poder caracterizar um ponto desajustado, situação imprescindível numa situação de controlo com ajuste automático do ponto.

A Figura 7 representa este parâmetro para a estrutura *jersey* em diferentes situações de ajuste da pré-tensão em cada uma das três linhas de costura. Pela sua análise, é possível verificar que a representação da relação entre os picos de tensão de linha e o consumo de linha, designada por *Stitchcheck*, permite notar zonas bem definidas, de acordo com as condições de execução da costura. Pode-se por isso observar uma zona bem definida para o ponto ajustado, onde os valores de pré-tensão nas três linhas são os ideais e também que para cada tipo de variação da pré-tensão de linha, o valor do *Stitchcheck* é específico, permitindo definir diferentes zonas de ponto desajustado.

A tabela I apresenta para cada uma das situações de ajuste da pré-tensão os extremos, em simultâneo, para os eixos dos *xx* e *yy*.

	Eixo <i>xx</i> (relação de tensões)	Eixo <i>yy</i> (relação de consumos)
AJ - Ponto Ajustado	3.18 - 3.43	1.36 - 1.45
FA - Frouxo Agulha	2.26 - 2.56	1.62 - 1.80
TA - Tensionado Agulha	4.51 - 4.81	1.15 - 1.26
FS - Frouxo Laçadeira Superior	3.20 - 3.50	1.48 - 1.57
TS - Tensionado Laçadeira Superior	3.85 - 4.25	1.01 - 1.11
FI - Frouxo Laçadeira Inferior	4.45 - 4.77	1.06 - 1.11
TI - Tensionado Laçadeira Inferior	2.25 - 2.37	1.79 - 2.10

Tabela I - Intervalos de variação do parâmetro *Stitchcheck* na estrutura *jersey*, produzida com fio 24 *Ne* no grau de aperto 14.

Com base no anterior foram determinados os valores da tensão de linha para o segundo pico em cada uma das linhas que originam valores de *Stitchcheck* (em termos da relação de tensões de linha - eixo *xx* e em termos de relações de consumos de linha - eixo *yy*) dentro da zona correspondente ao ponto ajustado.

Verifica-se que, valores de tensão no segundo pico da linha da agulha compreendidos no intervalo 117.4 a 128.0 *cN*; valores de tensão do segundo pico da linha da laçadeira superior compreendidos no intervalo 16.6 a 27.2 *cN*; e valores de tensão do segundo pico da linha da laçadeira inferior compreendidos no intervalo 42.0 a 45.2 *cN*, originam valores de *Stitchcheck* correspondentes ao ponto ajustado (Tabela II).

	Tensão segundo pico (<i>cN</i>)
Linha da Agulha	117.4 - 128.0
Linha da Laçadeira Superior	16.6 - 27.2
Linha da Laçadeira Inferior	42.0 - 45.2

Tabela II - Intervalos de variação da tensão no segundo pico de cada uma das linhas para o ponto ajustado na estrutura *jersey*, produzida com fio 24 *Ne* no grau de aperto 14.

No sentido de procurar encontrar uma regressão linearizada e definir a equação da curva representativa dos valores do coeficiente *Stitchcheck*, foram ajustados os pontos das variáveis pela equação do tipo $y = (a + bx) / (c + dx)$.

A equação de regressão foi obtida por ajuste a pontos ideais de passagem da curva, representados na Figura 8, em cada um dos tipos de ensaios efectuados. A equação obtida foi a seguinte:

$$y = (0.281725 + 0.084611x) / (-0.058401 + 0.147779x)$$

No momento, este grupo de investigação encontra-se numa fase de avaliação das equações de controlo propostas, utilizando para tal motores de passo colocados directamente em cada um dos tensores de linha.

6. CONCLUSÕES

O parâmetro *Stitchcheck* revelou ser eficaz na avaliação da qualidade da costura. Através da sua utilização em conjunto com o conhecimento adquirido com a variação da tensão em cada uma das linhas (e respectivos valores absolutos para as três linhas em cada um dos principais picos de tensão) será possível controlar em tempo real a qualidade da costura, identificar situações de desajuste da tensão e actuar no sentido de as corrigir. A detecção de defeitos de costura será também possível, nomeadamente a ocorrência de quebras de linha, pontos falsos, distorção de pontos, enrolamentos do material a ser costurado, etc.

7. PERSPECTIVAS FUTURAS

Apesar de se encontrar já em fase de estudo, a utilização de motores de passo em cada um dos tensores de linha permitirá efectuar o fecho da malha de controlo e assim avaliar o potencial do parâmetro *Stitchcheck* e respectivas equações. A aplicação desta metodologia de trabalho às máquinas de ponto preso será um outro passo importante, dada a sua vasta aplicabilidade na Indústria de Confecção, projecto que já se encontra em fase inicial de montagem dos sensores e todo o sistema de aquisição dos dados.

REFERÊNCIAS

- (1) F.B.N. Ferreira, “A Study of Thread Tensions on a Lockstitch Sewing Machine”, PhD thesis, University of Leeds, Leeds, UK, 1991.
- (2) M.A.F. Carvalho, “Estudo das Tensões nas Linhas na Máquina de Costura Corta-e-cose”, Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 1996.
- (3) M.A.F. Carvalho, F.B.N. Ferreira, “Automatic Seam Control and Qualification on Sewing Machines”, Proceedings of the IASTED International Conference - Measurement and Control, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, May 16-18, 2001.
- (4) M.A.F. Carvalho, F.B.N. Ferreira, On-Line Seam Qualification and Control in a Sewing Machine, Proceedings of the IFAC Workshop on Manufacturing, Modelling, Management and Control – MIM 2001, Prague, Czech Republic August 2-4, 2001.

- (5) M.A.F. Carvalho, “Estudo das Relações entre os Parâmetros de Controlo, Propriedades dos Materiais e Condições de Regulação numa Máquina de Costura Corta-e-Cose”, Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2003.

UNIVERSIDADE DO MINHO
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Têxtil
Miguel Ângelo Fernandes Carvalho
Professor Auxiliar
Campus de Azurém
4800 058 Guimarães - Portugal
Telefone: +351 253510280
Fax: +351 253510293
E-mail: migcar@det.uminho.pt

FIGURAS

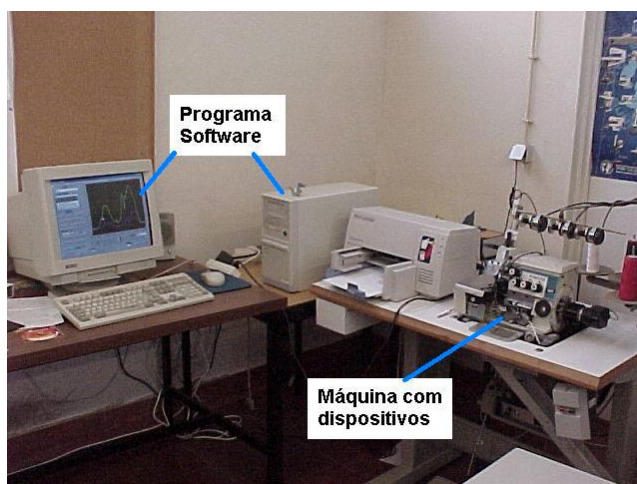


Figura 1 - Banco de ensaios.

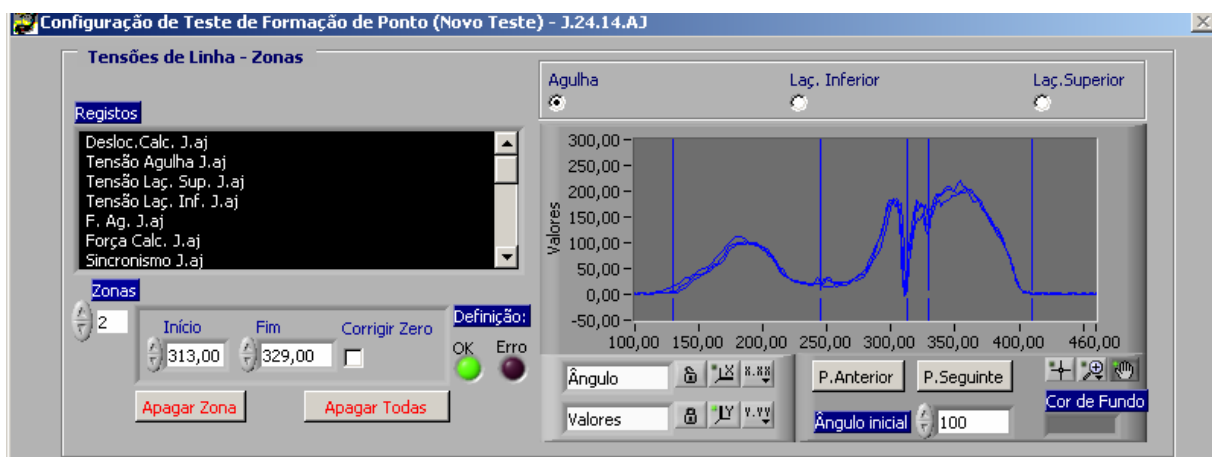


Figura 2 - Painel de definição das zonas de análise na evolução da tensão na linha da agulha.

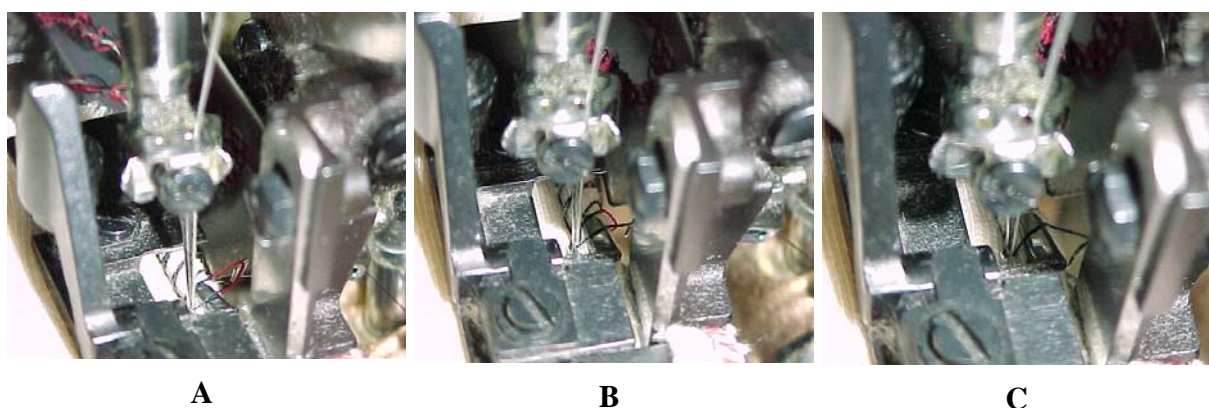


Figura 3 - Posição dos vários elementos durante a ocorrência do segundo pico de tensão absoluta nas três linhas num ciclo da máquina de costura (**A** – P2Ag (305°); **B** - P2Li (305-320°); **C** - P2Ls (340 - 345°).

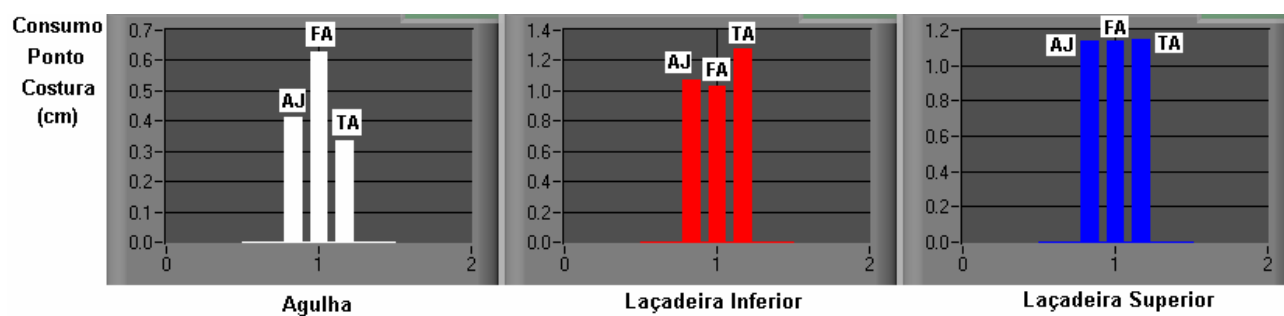


Figura 4 - Variação do consumo por ponto de costura de linha da agulha, laçadeira inferior e laçadeira superior para o conjunto de pontos de costura efectuados com o ponto ajustado (AJ), frouxo (FA) e tensionado (TA) na linha da agulha.

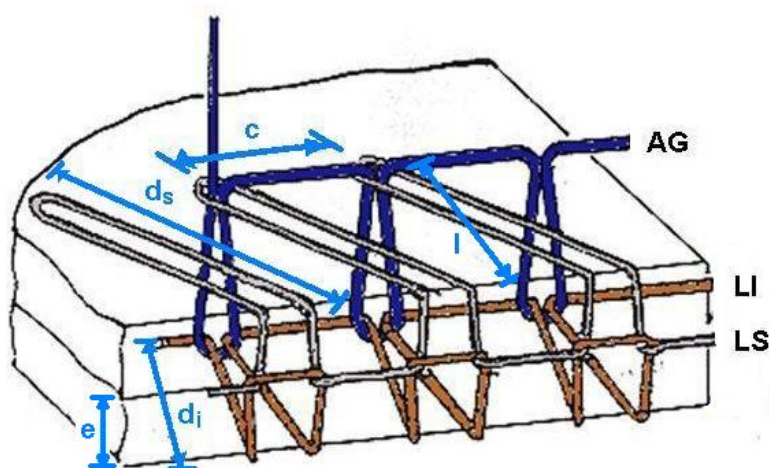


Figura 5 - Representação do ponto orlado tipo 504.

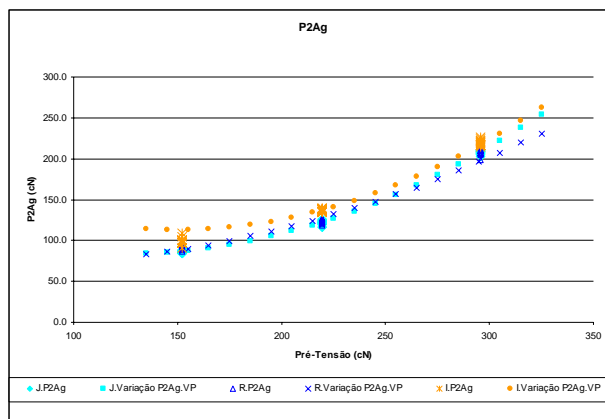
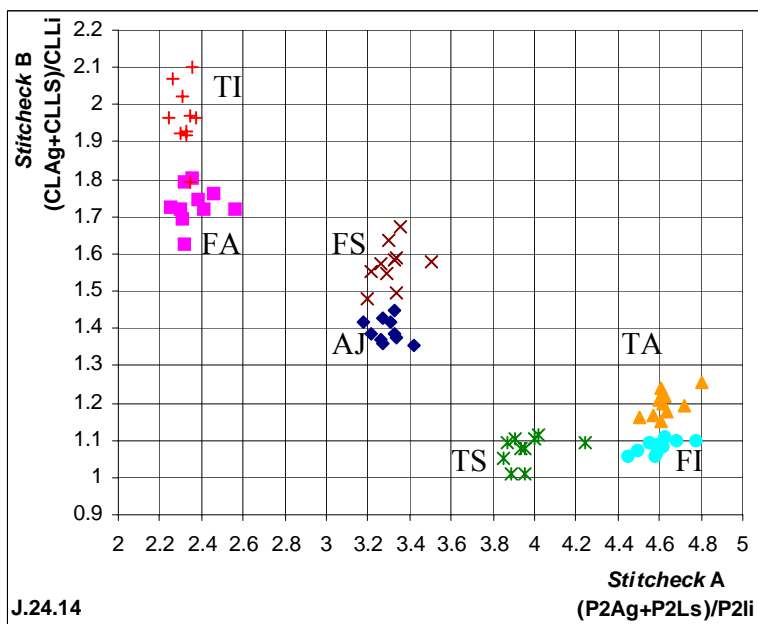


Figura 6 - Variação da tensão para o segundo pico de tensão na linha da agulha em função da pré-tensão na linha da agulha e dos valores da tensão gerados nas outras linhas (*variações VP*) para as estruturas jersey, rib e interlock.



Legenda:

- AJ - Ponto Ajustado;
- FA - Frouxo Linha Agulha;
- TA - Tensionado Linha Agulha;
- FS - Frouxo Linha Laçadeira Superior;
- TS - Tensionado Linha Laçadeira Superior;
- FI - Frouxo Linha Laçadeira Inferior;
- TI - Tensionado Linha Laçadeira Inferior.

Figura 7 - Parâmetro *Stitchcheck* para a malha jersey.

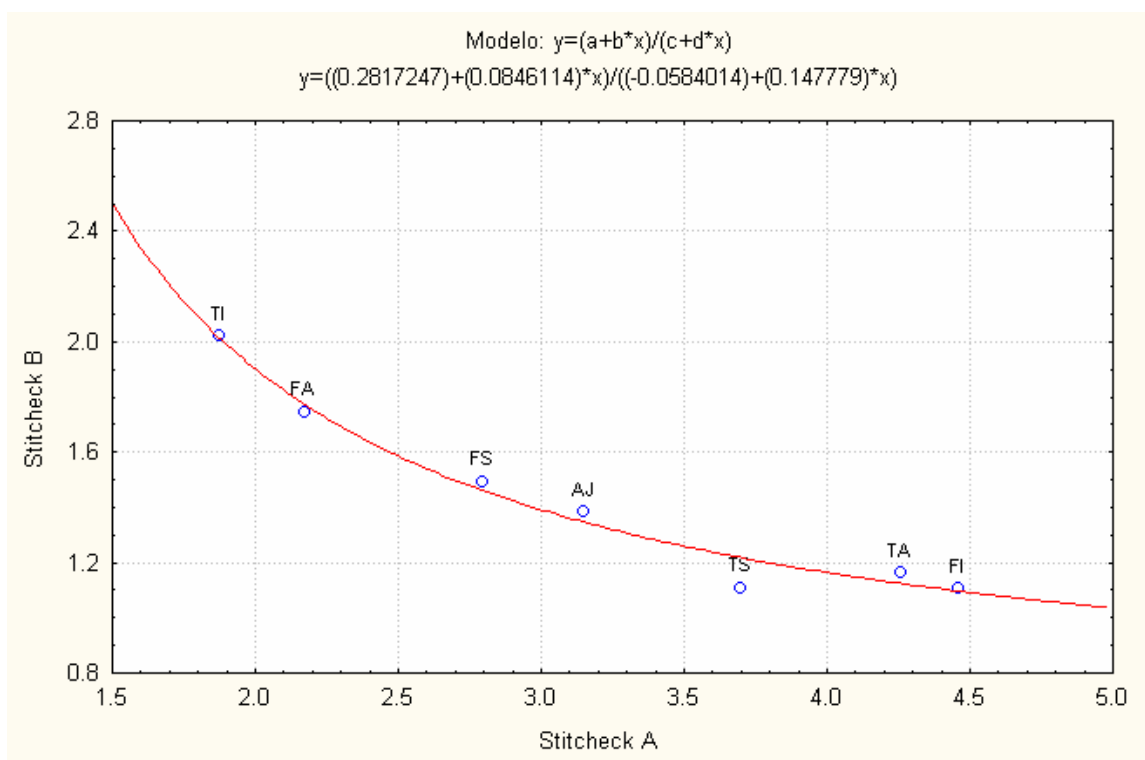


Figura 8 - Curva representativa dos valores do coeficiente *Stitchcheck* para a estrutura jersey.